

**Optical systems making use of phase type fresnel zone plates**

Patent Number: ☐ US5627679  
Publication date: 1997-05-06  
Inventor(s): IBA YOICHI (JP)  
Applicant(s): OLYMPUS OPTICAL CO (JP)  
Requested Patent: ☐ JP4361201  
Application Number: US19920896450 19920610  
Priority Number(s): JP19910137897 19910610  
IPC Classification: G02B27/44; G02B5/18  
EC Classification: G02B5/18Z, G02B27/00K2  
Equivalents:

**Abstract**

The optical system of the invention includes a phase type Fresnel zone plate 5. The zone plate 5 includes thereon a central zone C located around the optical axis, through which light flux 2 emanating from an object and having a relatively small divergence angle passes, and a peripheral zone P located on the outside thereof. The central and peripheral zones C and P have given Fresnel pitches and blazing angles, so that the peripheral zone P can make use of diffraction higher in order than that used by the central zone C to obtain the desired refractive power. Although the minimum pitch of the phase type Fresnel plate zone is thus relatively larger in the peripheral zone P, the optical system is not only satisfactory in terms of the effect on correction of chromatic aberration and refractive power but ensures a good image surface contrast as well.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-361201

(43) 公開日 平成4年(1992)12月14日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 2 B 5/18

27/42

識別記号

庁内整理番号

7724-2K

9120-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数1(全12頁)

(21) 出願番号 特願平3-137897

(22) 出願日 平成3年(1991)6月10日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 井堀陽一

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン

パス光学工業株式会社内

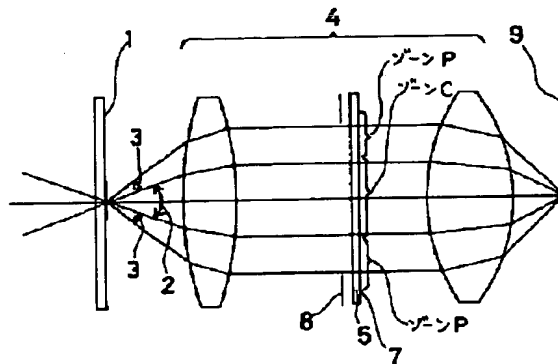
(74) 代理人 弁理士 荏澤 弘 (外7名)

(54) 【発明の名称】 フレネルゾーンプレートを用いた光学系

(57) 【要約】

【目的】 位相型ゾーンプレートの最小ピッチが比較的大きいにもかかわらず、十分な色収差補正効果もしくは屈折力と、良好な像面コントラストを確保できる。

【構成】 位相型フレネルゾーンプレート5を有し、位相型フレネルゾーンプレート5は、光軸を中心として、物体からの発散角の比較的小さい光束2が透過する光軸周辺領域Cに比べて、その外側の領域Pがより高次の回折を用いて所望の屈折力を得るように、光軸周辺領域C及びその外側の領域Pのフレネルピッチもしくはフレネルピッチとブレイジング角が設定されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 フレネルゾーンプレートを用いた光学系は、光軸を中心として、光軸周辺領域に比べてその外側の領域がより高次の回折を用いて所望の屈折力を得るように、光軸周辺領域及びその外側の領域のフレネルピッチもしくはフレネルピッチとブレイジング角が設定されていることを特徴とするフレネルゾーンプレートを用いた光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、フレネルゾーンプレートを用いた光学系に関し、特に、フレネルゾーンプレートの構造に工夫をして性能を向上させると共に製作の容易なフレネルゾーンプレートを用いた光学系に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 KrFエキシマレーザを光源として用いるステッパに搭載される縮小投影レンズは、光源波長が\*

$$\sin \theta' - \sin \theta = m\lambda / p$$

なお、mは回折の次数で、0、±1、±2、±3、±4、・・・である。

【0005】 この式(1)から、光線の屈折量は波長が長くなると大きくなるのがわかる。これは、フレネルゾーンプレートの屈折力(焦点距離の逆数)は、波長が長くなると強くなることを示している。一方、一般の光学ガラスは石英ガラスを含めて正の分散を持ち、このため、一般の光学ガラスを用いたレンズは、波長が長くなるほどその屈折力は弱くなる。すなわち、フレネルゾーンプレートはレンズ作用を有するが、それはあたかも負の分散を有する光学材料により構成されたレンズの作用を持つ。分散の異なる材料を用いれば、色収差は補正可能であり、特開平2-1109号においては、KrFエキシマレーザを光源とするステッパに搭載される縮小投影レンズの瞳位置にフレネルゾーンプレートを用いて、色収差を補正する技術が開示されている。この中に示されたフレネルゾーンプレートは、色収差を補正するために単一の次数の回折を利用した正の屈折力を有するものである。単一次数の回折を利用する場合、高次回折は高い回折効率を得るのが困難であり、回折効率が悪いと、所望の屈折作用を受けた光以外に有害光線が生成され、それが像面コントラストを低下させる原因となるために、1次、2次と言った低次の回折光を利用せざるを得ない。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、フレネルゾーンプレートの持つ色収差補正能力はその屈折力で決まるので、十分な色収差補正を行うためには、所定の屈折力を持つフレネルゾーンプレートが必要になる。その一方、フレネルゾーンプレートは、光軸から半径方向に向かって徐々にフレネルピッチが小さくなって行くが、その最小フレネルピッチは、式(1)からも明らかなよう

\*短波長であることから、使用できる硝材が実質的に石英ガラスに限られる。このため、分散の異なる硝材の組み合わせにより色収差を補正することができない。そこで、フレネルゾーンプレートを用いて色収差を補正する方法が提案されている。

【0003】 フレネルゾーンプレートによる光線の屈折(回折又は屈曲と言うべきであるが、本発明においては、フレネルゾーンプレートを屈折レンズと同様な収束光学素子又は発散光学素子として取り扱う都合上、特別な場合を除いて屈折と言う。)の原理は、回折格子による光線回折の原理と同じであり、フレネルゾーンプレートの法線に対する入射光線角 $\theta$ と射出光線角 $\theta'$ とは、回折格子の格子ピッチに相当するフレネルピッチ(隣接する不透明又は透明輪帯間の距離) pと光線波長 $\lambda$ により表すことができる。

## 【0004】

..... (1)

に、フレネルゾーンプレートの屈折力が大きければ大きいほど小さくなり、その製作は困難となる。十分な色収差補正を行うためには、最小フレネルピッチは5 $\mu$ m以下の微細ピッチが必要であり、製作は極めて困難である。

【0007】 このような問題点に鑑み、本発明は、最小フレネルピッチが比較的大きいにもかかわらず、十分な色収差補正効果もしくは屈折力と、良好な像面コントラストを確保することができるフレネルゾーンプレートを用いた光学系を提供することを目的とする。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成する本発明のフレネルゾーンプレートを用いた光学系は、フレネルゾーンプレートを有し、該フレネルゾーンプレートは、光軸を中心として、光軸周辺領域に比べてその外側の領域がより高次の回折を用いて所望の屈折力を得るように、光軸周辺領域及びその外側の領域のフレネルピッチもしくはフレネルピッチとブレイジング角が設定されていることを特徴とするものである。

## 【0009】

【作用】 本発明のフレネルゾーンプレートを用いた光学系について、図1を参照にして説明する。図1において、1は物体を示し、2、3は物体1から放射される光束で、光束2は物体1の0次回折光束部分、光束3は光束2の外側で0次回折以外の回折光束部分である。4はその瞳位置にフレネルゾーンプレート5を有する投影レンズで、物体1の像を像面9に投影している。8はフレネルゾーンプレート5に隣接して置かれている絞りで、光束を制限する働きを有する。

【0010】 フレネルゾーンプレート5はその前後の光学系と相まって、投影レンズ4全体の収差バランスを良好に保つ働きを有している。フレネルゾーンプレート5

3

のフレネルパターン面7を中心ゾーンCと周辺ゾーンPに分けて考えることにする。ここで、少なくとも物体1の0次回折光東部分2が透過する光軸周辺の領域をゾーンC、そして、ゾーンCの外側で0次回折以外の光東が透過する領域をゾーンPとする。

【0011】そして、本発明に基づき、フレネルゾーンプレート5の中心ゾーンCにおいては、比較的 low 低次の回折を利用してレンズ作用を行わせ、これに対し、周辺ゾーンPにおいては、比較的高次の回折を利用してレンズ作用を行わせるようにする。ゾーンC、Pそれぞれの利用回折次数を $m_1$ 、 $m_2$ とすると、従来フレネルピッチが微細化して問題となるゾーンPのピッチは、 $m_2/m_1$  1倍に大きくなることが式(1)から明らかである。仮に、 $m_1=1$ 、 $m_2=2$ であれば、ゾーンPのピッチは、全面同じ回折次数を用いる従来のフレネルゾーンプレートの場合に比べ、2倍大きくなる。さらに、 $m_2=3$ とすれば、ゾーンPのピッチは3倍になり、フレネルゾーンプレート5は大変製作しやすくなる。

【0012】さて、ゾーンPは高次回折を利用してレンズ作用を持たせているため、回折効率をゾーンCのよう

に良くすることは通常困難であり、回折効率はゾーンCに比べて劣ることになる。その回折効率を $K$ とすると、(ゾーンPを通り抜ける光東エネルギー)  $\times (1-K) \cdot \dots (2)$  の光がフレアを作り、像面9の像コントラストを低下させる有害光となり得る。しかし、ゾーンPを通り抜ける光東3のエネルギーは、光東2のエネルギーに比べて圧倒的に小さい。すなわち、物体1による回折光強度は、0次回折光が他の回折光強度に比べ圧倒的に大きいので、全ての0次回折光を含む光東2のエネルギーに比べて、0次回折光を全く含まないゾーンPを通り抜ける光東3エネルギーは、圧倒的に小さくなる。したがって、式(2)で示される有害光のエネルギーは実質無視できる程度の僅かなもので、像コントラストを低下させることはない。

【0013】なお、回折効率を高めるために、ゾーンC、P共、フレネルパターンは、ブレイジングすることが好ましいことは当然である。そのブレイジング角は、それぞれの回折次数に合った角度を選択すればよい。また、フレネルゾーンプレートは、レンズ系の瞳位置と異なる位置に配置することも可能である。この場合、光東

4

3の通る領域に比べ、光東2の透過する領域の面積比が大きくなるため、ゾーンPの領域がゾーンCに対して相対的に圧縮される。すなわち、製作容易なゾーンPの面積比率が減ることになるので、フレネルゾーンプレートは、レンズ系の瞳近傍に置く方が望ましい。しかし、瞳位置に必ず置かなければならないものではない。なお、フレネルゾーンプレート5は、光軸を中心にして半径方向に3領域以上にゾーン分割してもよい。この場合は、中心部に比べてその次にくる領域ではより高次の回折を利用し、周辺部はその内側に位置する領域に比較してより高次の回折を利用してレンズ作用を行わせるようにする。

【0014】

【実施例】本発明によるフレネルゾーンプレートを用いた光学系の1実施例の断面図を図2に、その部分拡大図を図3に示す。図中、11はKrFエキシマレーザを光源とするステッパの縮小投影レンズ、10はステッパ本体に内蔵されている照明装置である。また、12は物体面に置かれたレチクル、13は像面に置かれたウエハ、14は縮小投影レンズの瞳位置に置かれた明るさ絞り、15は縮小投影レンズに内蔵されたフレネルゾーンプレートである。なお、図3中には、フレネルゾーンプレート15の一部を模式的に拡大して示してある。この部分は、ゾーンCとゾーンPの境界部となる。

【0015】照明光学系10は、中心波長248.38nm、波長幅0.35nm(248.19~248.54nm)の光でレチクル12を一樣な照度で背後から照明し、縮小投影レンズ11がそのレチクルに描かれたパターンをウエハ13上に1/5倍に縮小して投影する。縮小投影レンズ11の開口数NAは0.35、露光領域はウエハ13上で $\phi 2$ mm、レチクル12とレンズ第1面との距離は186.0383mmである。縮小投影レンズ11のレンズデータは次の表-1に示す通りであり、その収差図を図4に示す。なお、表-1中、 $r_i$ は、物体側より順に、第1番目のレンズ面の曲率半径、 $d_i$ は、物体側より順に、第1番目のレンズ厚及び空気間隔である。光学材料は合成石英を用いており、その屈折率は表-2に示す。

【0016】

表-1

曲率半径	厚み・間隔	硝材
$r_1 = 30.4054$	$d_1 = 8.0000$	合成石英
$r_2 = 355.8106$	$d_2 = 1.6000$	
$r_3 = 28.7353$	$d_3 = 8.0000$	合成石英
$r_4 = 40.6480$	$d_4 = 7.7000$	
$r_5 = -97.0751$	$d_5 = 2.6000$	合成石英
$r_6 = 15.3467$	$d_6 = 4.3000$	
$r_7 = \infty$	$d_7 = 3.7000$	合成石英
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.0000$	**

5		
$r_9 = *$	$d_9 = 3.2000$	
$r_{10} = -17.7780$	$d_{10} = 15.2000$	合成石英
$r_{11} = -23.6230$	$d_{11} = 15.4000$	
$r_{12} = 31.7739$	$d_{12} = 12.0000$	合成石英
$r_{13} = -90.9941$	$d_{13} = 5.1000$	
$r_{14} = 26.0485$	$d_{14} = 10.6000$	合成石英
$r_{15} = -58.4030$	$d_{15} = 1.6000$	
$r_{16} = -35.7916$	$d_{16} = 8.5000$	合成石英
$r_{17} = 38.9539$		

【0017】

10

表-2

波長	屈折率	
	合成石英	**
248.38nm	1.508338	10001
248.19nm	1.508444	9993.35
248.54nm	1.508249	10007.44

【0018】表-1において、第9面目の\*は非球面であることを示し、この非球面は次のように表される。 \*

$$Z = (1/2) \times 1.567779 \times 10^{-8} \times s^2 \quad (\text{mm}) \quad \dots \dots (3)$$

ただし、光軸をZ軸とし、sは光軸からの距離である。

【0020】また、第8面目の硝材の\*\*は、表-2に示す屈折率を有する仮想硝材であり、これにより第9面はフレネルゾーンプレートと等価な働きを有する。すなわち、フレネルゾーンプレートは屈折率が極めて大きな光学材料からなる屈折光学系に置き換えることができる。

$$\sin \theta - \sin \theta' = m\lambda / p \quad \dots \dots (4)$$

ただし、mは回折の次数、 $\lambda$ は光線の波長、pはフレネルピッチである。

【0023】一方、屈折光学系の屈折率をn、光線が通過する部分の厚さをt、また、光軸からの距離をsとす★

$$\sin \theta - \sin \theta' \rightarrow (n-1) dt/ds \quad \dots \dots (5)$$

以上の2つの式(4)、(5)を見比べると、屈折率n

$$m\lambda/p \approx (n-1) dt/ds \quad \dots \dots (6)$$

が成り立つことがわかり、この式(6)を使ってフレネルゾーンプレートは屈折光学系への置き換えができるのである。

$$m/p = (dt/ds) (\partial n / \partial \lambda) \\ = m\lambda / \{ (n-1) p \} \cdot (\partial n / \partial \lambda)$$

$$\therefore \Delta n = \{ (n-1) / \lambda \} \Delta \lambda \quad (\text{ただし、} m=1 \text{とした}) \dots (7)$$

本実施例では、フレネルゾーンプレートに置き換えを行うため、仮想硝材の中心波長248.38nmにおける屈折率を10001と置き、その他の波長については、式(7)を用い計算して表-2に示した数値を求めた。

\* 【0019】

※ 【0021】このことは、W.C.Sweattの論文(J.Opt.Soc.Am.Vol69, No3, March1979)に示されており、以下にその要約を示す。光線の入射角を $\theta$ 、光線の出射角を $\theta'$ とすると、フレネルゾーンプレートにおける光線の屈折は、回折格子における回折の式がそのまま成り立つので、下式(4)が成り立つ。

$$\dots \dots (4)$$

★る時、 $n \rightarrow \infty$ 、 $t \rightarrow 0$ であれば、スネルの式から下式(5)を導ける。

【0024】

$$\dots \dots (5)$$

$$\dots \dots (6)$$

☆ 【0025】次に、フレネルゾーンプレートをこのような屈折光学系へ置き換えた場合の、屈折率の波長分散を求める。式(6)を入で微分して、

したがって、本実施例は、第7面、第8面がフレネルゾーンプレート15の基板に相当し、第9面がフレネルゾーンプレートに相当する。しかも、その働きは波長分散特性まで含めて等価である。

7

【0026】ところで、合成石英に限らず光学材料は、多かれ少なかれ波長が短くなるに従ってその屈折率が増加するが、この仮想硝材の屈折率は逆に減少する。すなわち、光学材料とは符号が逆の波長分散を有している。したがって、一般の屈折光学系との組み合わせにおいて、フレネルゾーンプレートは絶大な色補正効果を発揮し得る。

【0027】通常、透過率の問題から、光学材料として全て合成石英を用いているこの種のステッパ用レンズは、色収差の補正がされていないので、そのため、光源に特殊な工夫を施し、波長幅を±0.01nm以下に狭帯域化する必要がある。しかし、本実施例に示した縮小\*

$$p = m \times \lambda / \{ (n-1) dt / ds \} \\ -1) \times 1.567779 \times 10^{-6} s \}$$

$$p = m \times 15.84279 \text{ (mm} \cdot \mu\text{m)} / s \text{ (mm)} \dots\dots (8)$$

この式(8)を用いてピッチを計算することができる。

【0029】従来は、フレネルゾーンプレート全面にわたり同一次数の回折光を利用するように設計を行っており、その次数は回折効率が良好な1次ないし2次の低次回折光を利用していた。本実施例の場合にも、仮に本発明によらず、フレネルゾーンプレート15全面を2次の回折光を利用するよう設計したとすると、フレネルゾーンプレート15最周辺すなわちs=8.75mmでは、式(8)より、フレネルピッチが3.62μmと製作が困難な微細なピッチとなる。

【0030】しかし、本発明によりこの問題を克服することができる。照明装置10は、レチクル12をNA0.035で照明している。レチクル12で回折せずに透過した光(0次回折光)は、全てフレネルゾーンプレート15の中央部φ8.8mm(s=4.4mm)の円形領域内を透過する。この実施例では、フレネルゾーンプレートの中央部φ9mm(s=4.5mm)をゾーンC、その外周部をゾーンPとした。そして、表-3に示すように、ゾーンCはm=2、ゾーンPはm=4の次数の回折光を利用するよう設計してあるので、何れも最小

8

\* 投影レンズ11にはフレネルゾーンプレート15が内蔵されており、この働きで図4に示す通り色収差が十分に補正され、上述のように波長幅が0.35nmの光であっても、ウエハ13上に良好なレチクル12のパターン像を投影することができる。

【0028】次に、そのフレネルゾーンプレート15のピッチを表-3に示す。これは、以下のようにして求めている。すなわち、式(3)から、

$$dZ/ds = 1.567779 \times 10^{-6} \times s$$

また、明らかにdZ=dtなので、

$$dt/ds = dZ/ds = 1.567779 \times 10^{-6} \times s$$

これを式(6)に代入して、

$$= m \times (0.24838 \mu\text{m}) / \{(10001$$

ピッチは約7μmと、製作があまり困難でない細かさに行うことができた。ゾーンPの次数は、(ゾーンCの次数)×(ゾーンPの外径)/(ゾーンCの外径)で求めた数値に近い整数値とするのがよい。これにより、むやみにゾーンPの次数を高くし回折効率を落とすことなく、また、次数が低すぎて製作できないようなピッチになることもなく、すなわち、回折効率と製作性とのバランスがよくとれる。

【0031】なお、フレネルゾーンプレート15に刻まれる回折格子パターンは、それぞれの次数の光が効率よく透過するようにブレイジングしてある。すなわち、図3のフレネルゾーンプレート15の拡大部に示すように、断面形状は鋸歯状で、山に対する谷の深さは次式を満足している。

$$m\lambda / (n-1)$$

ここで、nはフレネルゾーンプレート15の基板の屈折率であり、本実施例では合成石英であるから、n=1.508338である。

【0032】

9  
表-3

10

ゾーン	次数 (m)	s (mm)	ピッチ (μm)
C	2	2	15.843
		4	7.921
		4.5	7.041
P	4	4.5	14.082
		6	10.562
		8.74	7.251

## 【0033】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、従来、製作上並びに設計上の大きな問題となっていたフレネルゾーンプレート周辺部のピッチ微細化を、像コントラストを事実上劣化させることなく改善できる。これにより、フレネルゾーンプレートの設計の自由度が増し、フレネルゾーンプレートを用いたより高性能なレンズの設計と製作が可能になる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるフレネルゾーンプレートの構成と作用を説明するための図である。

【図2】本発明によるフレネルゾーンプレートを用いた光学系の1実施例の断面図である。

【図3】図2の部分拡大図である。

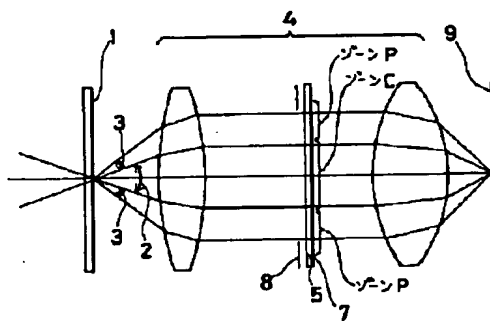
【図4】図2の光学系中の縮小投影レンズの収差図である。

る。

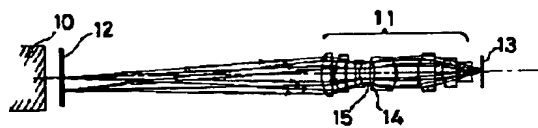
## 【符号の説明】

- 1…物体
- 2…発散角の比較的小さい光束部分
- 3…光束2の外側の比較的发散角の大きい光束部分
- 4…投影レンズ
- 5、15…フレネルゾーンプレート
- 7…フレネルパターン面
- 8…絞り
- 9…像面
- 10…照明装置
- 11…縮小投影レンズ
- 12…レチクル
- 13…ウエハ
- 14…明るさ絞り

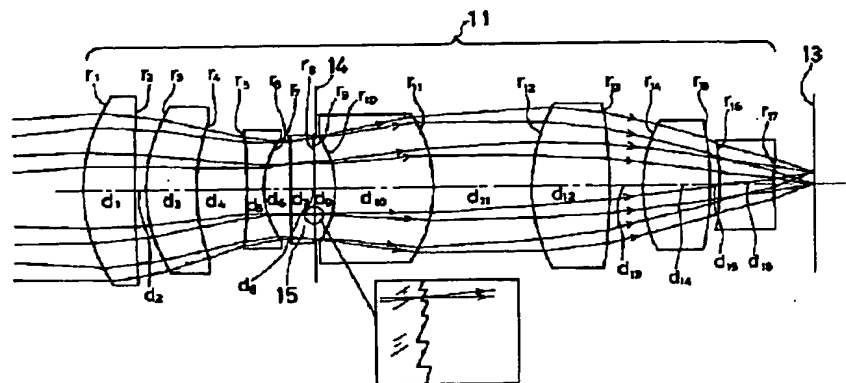
【図1】



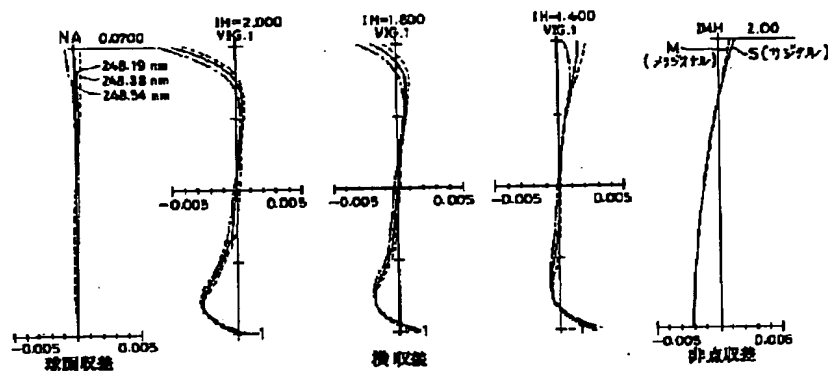
【図2】



【図3】



【図4】



## 【手続補正書】

【提出日】平成3年11月15日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】位相型フレネルゾーンプレートを用いた光学系

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 位相型フレネルゾーンプレートを有し、該位相型フレネルゾーンプレートは、光軸を中心として、光軸周辺領域に比べてその外側の領域がより高次の回折を用いて所望の屈折力を得るように、光軸周辺領域及びその外側の領域のフレネルピッチもしくはフレネルピッチとブレイジング角が設定されていることを特徴とする位相型フレネルゾーンプレートを用いた光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、位相型フレネルゾーンプレートを用いた光学系に関し、特に、位相型フレネルゾーンプレートの構造に工夫をして性能を向上させると共に製作の容易な位相型フレネルゾーンプレートを用いた光学系に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 KrFエキシマレーザを光源として用いるステッパに搭載される縮小投影レンズは、光源波長が短波長であることから、使用できる硝材が実質的に石英ガラスに限られる。このため、分散の異なる硝材の組み合わせにより色収差を補正することができない。そこで、位相型フレネルゾーンプレートを用いて色収差を補正する方法が提案されている。

【0003】 位相型フレネルゾーンプレートによる光線の屈折（回折又は屈曲と言うべきであるが、本発明にお



いては、位相型フレネルゾーンプレート屈折レンズと同様な収束光学素子又は発散光学素子として取り扱う都合上、特別な場合を除いて屈折と言う。)の原理は、回折格子による光線回折の原理と同じであり、位相型フレネルゾーンプレートの法線に対する入射光線角 $\theta$ と射出\*

$$\sin \theta' - \sin \theta = m\lambda/p$$

なお、 $m$ は回折の次数で、 $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots$ である。

【0005】この式(1)から、光線の屈折量は波長が長くなると大きくなるのがわかる。これは、位相型フレネルゾーンプレートの屈折力(焦点距離の逆数)は、波長が長くなると強くなることを示している。一方、一般の光学ガラスは石英ガラスを含めて正の分散を持ち、このため、一般の光学ガラスを用いたレンズは、波長が長くなるほどその屈折力は弱くなる。すなわち、位相型フレネルゾーンプレートはレンズ作用を有するが、それはあたかも負の分散を有する光学材料により構成されたレンズの作用を持つ。分散の異なる材料を用いれば、色収差は補正可能であり、特開平2-1109号においては、Krfエキシマレーザを光源とするステッパに搭載される縮小投影レンズの瞳位置に位相型フレネルゾーンプレートを用いて、色収差を補正する技術が開示されている。この中に示された位相型フレネルゾーンプレートは、色収差を補正するために単一の次数の回折を利用した正の屈折力を有するものである。単一次数の回折を利用する場合、高次回折は高い回折効率を得るのが困難であり、回折効率が悪いと、所望の屈折作用を受けた光以外に有害光線が生成され、それが像面コントラストを低下させる原因となるために、1次、2次と言った低次の回折光を利用せざるを得ない。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、位相型フレネルゾーンプレートの持つ色収差補正能力はその屈折力で決まるので、十分な色収差補正を行うためには、所定の屈折力を持つ位相型フレネルゾーンプレートが必要になる。その一方、位相型フレネルゾーンプレートは、光軸から半径方向に向かって徐々にフレネルピッチが小さくなって行くが、その最小フレネルピッチは、式(1)からも明らかなように、位相型フレネルゾーンプレートの屈折力が大きければ大きいほど小さくなり、その製作は困難となる。十分な色収差補正を行うためには、最小フレネルピッチは $5\mu\text{m}$ 以下の微細ピッチが必要であり、製作は極めて困難である。

【0007】このような問題点に鑑み、本発明は、最小フレネルピッチが比較的大きいにもかかわらず、十分な色収差補正効果もしくは屈折力と、良好な像面コントラストを確保することができる位相型フレネルゾーンプレートを用いた光学系を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発

\*光線角 $\theta'$ とは、回折格子の格子ピッチに相当するフレネルピッチ(隣接する輪帯間の距離) $p$ と光線波長 $\lambda$ により表すことができる。

【0004】

.....(1)

明の位相型フレネルゾーンプレートを用いた光学系は、位相型フレネルゾーンプレートを有し、該位相型フレネルゾーンプレートは、光軸を中心として、光軸周辺領域に比べてその外側の領域がより高次の回折を用いて所望の屈折力を得るように、光軸周辺領域及びその外側の領域のフレネルピッチもしくはフレネルピッチとブレイジング角が設定されていることを特徴とするものである。

【0009】

【作用】本発明の位相型フレネルゾーンプレートを用いた光学系について、図1を参照にして説明する。図1において、1は物体を示し、2、3は物体1からから発せられる光線で、光束2は物体1の0次回折光束部分、光束3は光束2の外側で0次回折以外の回折光束部分である。4はその瞳位置に位相型フレネルゾーンプレート5を有する投影レンズで、物体1の像を像面9に投影している。8は位相型フレネルゾーンプレート5に隣接して置かれている絞りで、光束を制限する働きを有する。

【0010】位相型フレネルゾーンプレート5はその前後の光学系と相まって、投影レンズ4全体の収差バランスを良好に保つ働きを有している。位相型フレネルゾーンプレート5のフレネルパターン面7を中心ゾーンCと周辺ゾーンPに分けて考えることにする。ここで、少なくとも物体1の0次回折光束部分2が透過する光軸周辺の領域をゾーンC、そして、ゾーンCの外側で0次回折以外の光束が透過する領域をゾーンPとする。

【0011】そして、本発明に基づき、位相型フレネルゾーンプレート5の中心ゾーンCにおいては、比較的低次の回折を利用してレンズ作用を行わせ、これに対し、周辺ゾーンPにおいては、比較的高次の回折を利用してレンズ作用を行わせるようにする。ゾーンC、Pそれぞれの利用回折次数を $m_1, m_2$ とおくと、従来フレネルピッチが微細化して問題となるゾーンPのピッチは、 $m_2/m_1$ 倍に大きくなることが式(1)から明らかである。仮に、 $m_1=1, m_2=2$ であれば、ゾーンPのピッチは、全面同じ回折次数を用いる従来の位相型フレネルゾーンプレートの場合に比べ、2倍大きくなる。さらに、 $m_2=3$ とすれば、ゾーンPのピッチは3倍になり、位相型フレネルゾーンプレート5は大変製作しやすくなる。

【0012】さて、ゾーンPは高次回折を利用してレンズ作用を持たせているため、回折効率をゾーンCのように良くすることは通常困難であり、回折効率はゾーンCに比べて劣ることになる。その回折効率を $K$ とすると、

$$(\text{ゾーンPを通り抜ける光束エネルギー}) \times (1-K) \dots\dots\dots (2)$$

の光がフレアを作り、像面9の像コントラストを低下させる有害光となり得る。しかし、ゾーンPを通り抜ける光束3のエネルギーは、光束2のエネルギーに比べて圧倒的に小さい。すなわち、物体1による回折光強度は、0次回折光が他の回折光強度に比べ圧倒的に大きいので、全ての0次回折光を含む光束2のエネルギーに比べて、0次回折光を全く含まないゾーンPを通り抜ける光束3エネルギーは、圧倒的に小さくなる。したがって、式(2)で示される有害光のエネルギーは実質無視できる程度の僅かなもので、像コントラストを低下させることはない。

【0013】なお、回折効率を高めるために、ゾーンC、P共、フレネルパターンは、プレーシングすることが好ましいことは当然である。そのプレーシング角は、それぞれの回折次数に合った角度を選択すればよい。また、位相型フレネルゾーンプレートは、レンズ系の瞳位置と異なる位置に配置することも可能である。この場合、光束3の通る領域に比べ、光束2の透過する領域の面積比が大きくなるため、ゾーンPの領域がゾーンCに対して相対的に圧縮される。すなわち、製作容易なゾーンPの面積比率が減ることになるので、位相型フレネルゾーンプレートは、レンズ系の瞳近傍に置く方が望ましい。しかし、瞳位置に必ず置かなければならないものではない。なお、位相型フレネルゾーンプレート5は、光軸を中心にして半径方向に3領域以上にゾーン分割してもよい。この場合は、中心部に比べてその次にくる領域ではより高次の回折を利用し、周辺部はその内側に位置する領域に比較してより高次の回折を利用してレンズ作用を行わせるようにする。

表-1

曲率半径	厚み・間隔	硝材
$r_1 = 30.4054$	$d_1 = 8.0000$	合成石英
$r_2 = 355.8106$	$d_2 = 1.6000$	
$r_3 = 28.7353$	$d_3 = 8.0000$	合成石英
$r_4 = 40.6480$	$d_4 = 7.7000$	
$r_5 = -97.0751$	$d_5 = 2.6000$	合成石英
$r_6 = 15.3467$	$d_6 = 4.3000$	
$r_7 = \infty$	$d_7 = 3.7000$	合成石英
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.0000$	**
$r_9 = *$	$d_9 = 3.2000$	
$r_{10} = -17.7780$	$d_{10} = 15.2000$	合成石英
$r_{11} = -23.6230$	$d_{11} = 15.4000$	
$r_{12} = 31.7739$	$d_{12} = 12.0000$	合成石英
$r_{13} = -90.9941$	$d_{13} = 5.1000$	
$r_{14} = 26.0485$	$d_{14} = 10.6000$	合成石英
$r_{15} = -58.4030$	$d_{15} = 1.6000$	
$r_{16} = -35.7916$	$d_{16} = 8.5000$	合成石英
$r_{17} = 38.9539$		

【0017】

【0014】

【実施例】本発明による位相型フレネルゾーンプレートを用いた光学系の1実施例の断面図を図2に、その部分拡大図を図3に示す。図中、11はKrFエキシマレーザを光源とするステッパの縮小投影レンズ、10はステッパ本体に内蔵されている照明装置である。また、12は物体面に置かれたレチクル、13は像面に置かれたウエハ、14は縮小投影レンズの瞳位置に置かれた明るさ絞り、15は縮小投影レンズに内蔵された位相型フレネルゾーンプレートである。なお、図3中には、位相型フレネルゾーンプレート15の一部を模式的に拡大して示してある。この部分は、ゾーンCとゾーンPの境界部となる。

【0015】照明光学系10は、中心波長248.38nm、波長幅0.35nm(248.19~248.54nm)の光でレチクル12を一定照度で背後から照明し、縮小投影レンズ11がそのレチクルに描かれたパターンをウエハ13上に1/5倍に縮小して投影する。縮小投影レンズ11の開口数NAは0.35、露光領域はウエハ13上でφ2mm、レチクル12とレンズ第1面との距離は186.0383mmである。縮小投影レンズ11のレンズデータは次の表-1に示す通りであり、その収差図を図4に示す。なお、表-1中、 $r_i$ は、物体側より順に、第1番目のレンズ面の曲率半径、 $d_i$ は、物体側より順に、第1番目のレンズ厚及び空気間隔である。光学材料は合成石英を用いており、その屈折率は表-2に示す。

【0016】

表-2

波長	屈折率	
	合成石英	**
248.38nm	1.508338	10001
248.19nm	1.508444	9993.35
248.54nm	1.508249	10007.44

【0018】表-1において、第9面目の\*は非球面であることを示し、この非球面は次のように表される。 \*

$$Z = (1/2) \times 1.567779 \times 10^{-4} \times s^4$$

ただし、光軸をZ軸とし、sは光軸からの距離である。

【0020】また、第8面目の硝材の\*\*は、表-2に示す屈折率を有する仮想硝材であり、これにより第9面は位相型フレネルゾーンプレートと等価な働きを有する。すなわち、位相型フレネルゾーンプレートは屈折率が極めて大きな光学材料からなる屈折光学系に置き換えることができる。

$$\sin \theta - \sin \theta' = m\lambda / p$$

ただし、mは回折の次数、λは光線の波長、pはフレネルピッチである。

【0023】一方、屈折光学系の屈折率をn、光線が通過する部分の厚さをt、また、光軸からの距離をsとす★

$$\sin \theta - \sin \theta' \rightarrow (n-1) dt/ds \quad (4)$$

以上の2つの式(4)、(5)を見比べると、屈折率n

$$m\lambda / p \approx (n-1) dt/ds \quad (5)$$

が成り立つことがわかり、この式(6)を使って位相型フレネルゾーンプレートは屈折光学系への置き換えができるのである。

$$m/p = (dt/ds) (\partial n / \partial \lambda)$$

$$= m\lambda / \{ (n-1) p \} \cdot (\partial n / \partial \lambda)$$

$$\therefore \Delta n = \{ (n-1) / \lambda \} \Delta \lambda \quad (6)$$

本実施例では、位相型フレネルゾーンプレートに置き換えを行うため、仮想硝材の中心波長248.38nmにおける屈折率を10001と置き、その他の波長については、式(7)を用い計算して表-2に示した数値を求めた。したがって、本実施例は、第7面、第8面が位相型フレネルゾーンプレート15の基板に相当し、第9面が位相型フレネルゾーンプレートに相当する。しかも、その働きは波長分散特性まで含めて等価である。

【0026】ところで、合成石英に限らず光学材料は、多かれ少なかれ波長が短くなるに従ってその屈折率が増加するが、この仮想硝材の屈折率は逆に減少する。すなわち、光学材料とは符号が逆の波長分散を有している。したがって、一般の屈折光学系との組み合わせにおいて、位相型フレネルゾーンプレートは絶大な色補正効果を発

\* 【0019】

(mm) . . . . . (3)

※ 【0021】このことは、W.C.Sveattの論文(J.Opt.Soc.Am.Vol69, No3, March1979)に示されており、以下にその要約を示す。光線の入射角をθ、光線の出射角をθ' とすると、位相型フレネルゾーンプレートにおける光線の屈折は、回折格子における回折の式がそのまま成り立つので、下式(4)が成り立つ。

$$\sin \theta - \sin \theta' = m\lambda / p \quad (4)$$

★ する時、n→∞、t→0であれば、スネルの式から下式(5)を導ける。

【0024】

$$\sin \theta - \sin \theta' \rightarrow (n-1) dt/ds \quad (5)$$

が充分大きい場合には、

$$m\lambda / p \approx (n-1) dt/ds \quad (6)$$

☆ 【0025】次に、位相型フレネルゾーンプレートをこのような屈折光学系へ置き換えた場合の、屈折率の波長分散を求める。式(6)を入で微分して、

$$\Delta n = \{ (n-1) / \lambda \} \Delta \lambda \quad (7)$$

押し得る。

【0027】通常、透過率の問題から、光学材料として全て合成石英を用いているこの種のステップ用レンズは、色収差の補正がされていないので、そのため、光源に特殊な工夫を施し、波長幅を±0.01nm以下に狭帯域化する必要がある。しかし、本実施例に示した縮小投影レンズ11には位相型フレネルゾーンプレート15が内蔵されており、この働きで図4に示す通り色収差が十分に補正され、上述のように波長幅が0.35nmの光であっても、ウエハ13上に良好なレチクル12のパターン像を投影することができる。

【0028】次に、その位相型フレネルゾーンプレート15のピッチを表-3に示す。これは、以下のようにして求めている。すなわち、式(3)から、

$$dZ/ds = 1.567779 \times 10^{-6} \times s$$

また、明らかに  $dZ = dt$  なので、

$$\begin{aligned} p &= m \times \lambda / \{ (n-1) dt/ds \} \\ &= m \times (0.24838 \mu\text{m}) / \{ (10001-1) \times 1.567779 \times 10^{-6} s \} \\ p &= m \times 15.84279 (\text{mm} \cdot \mu\text{m}) / s (\text{mm}) \quad \dots (8) \end{aligned}$$

この式(8)を用いてピッチを計算することができる。

【0029】従来は、位相型フレネルゾーンプレート全面にわたり同一次数の回折光を利用するように設計を行っており、その次数は回折効率が良好な1次ないし2次の低次回折光を利用していた。本実施例の場合にも、仮に本発明によらず、位相型フレネルゾーンプレート15全面を2次の回折光を利用するよう設計したとすると、位相型フレネルゾーンプレート15最周辺すなわち  $s = 8.75 \text{ mm}$  では、式(8)より、フレネルピッチが  $3.62 \mu\text{m}$  と製作が困難な微細なピッチとなる。

【0030】しかし、本発明によりこの問題を克服することができる。照明装置10は、レチクル12をNA0.035で照明している。レチクル12で回折せずに透過した光(0次回折光)は、全て位相型フレネルゾーンプレート15の中央部  $\phi 8.8 \text{ mm}$  ( $s = 4.4 \text{ mm}$ ) の円形領域内を透過する。この実施例では、位相型フレネルゾーンプレートの中央部  $\phi 9 \text{ mm}$  ( $s = 4.5 \text{ mm}$ ) をゾーンC、その外周部をゾーンPとした。そして、表-3に示すように、ゾーンCは  $m=2$ 、ゾーンPは  $m=4$  の次数の回折光を利用するよう設計してある※

表-3

ゾーン	次数 (m)	s (mm)	ピッチ ( $\mu\text{m}$ )
C	2	2	15.843
		4	7.921
		4.5	7.041
P	4	4.5	14.082
		6	10.562
		8.74	7.251

【0033】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、従来、製作上並びに設計上の大きな問題となっていた位相型フレネルゾーンプレート周辺部のピッチ微細化を、像コントラストを事実上劣化させることなく改善できる。これにより、位相型フレネルゾーンプレートの設計の自由度が増し、位相型フレネルゾーンプレートを用いたより高性能なレンズの設計と製作が可能になる。

【図面の簡単な説明】

$$* dt/ds = dZ/ds = 1.567779 \times 10^{-6} \times s$$

これを式(6)に代入して、

※で、何れも最小ピッチは約  $7 \mu\text{m}$  と、製作があまり困難でない細かさにする事ができた。ゾーンPの次数は、(ゾーンCの次数)  $\times$  (ゾーンPの外径) / (ゾーンCの外径) で求めた数値に近い整数値とするのがよい。これにより、むやみにゾーンPの次数を高くし回折効率を落とすことなく、また、次数が低すぎて製作できないようなピッチになることもなく、すなわち、回折効率と製作性とのバランスがよくとれる。

【0031】なお、位相型フレネルゾーンプレート15に刻まれる回折格子パターンは、それぞれの次数の光が効率よく透過するようにブレイジングしてある。すなわち、図3の位相型フレネルゾーンプレート15の拡大部に示すように、断面形状は鋸歯状で、山に対する谷の深さは次式を満足している。

$$m\lambda / (n-1)$$

ここで、 $n$  は位相型フレネルゾーンプレート15の基板の屈折率であり、本実施例では合成石英であるから、 $n = 1.508338$  である。

【0032】

【図1】本発明による位相型フレネルゾーンプレートの構成と作用を説明するための図である。

【図2】本発明による位相型フレネルゾーンプレートを用いた光学系の1実施例の断面図である。

【図3】図2の部分拡大図である。

【図4】図2の光学系中の縮小投影レンズの収差図である。

【符号の説明】

1...物体

2…発散角の比較的小さい光束部分

\* 9…像面

3…光束2の外側の比較的发散角の大きい光束部分

10…照明装置

4…投影レンズ

11…縮小投影レンズ

5、15…位相型フレネルゾーンプレート

12…レチクル

7…フレネルパターン面

13…ウエハ

8…絞り

\* 14…明るさ絞り

## 【手続補正書】

【提出日】平成4年2月27日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項1

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項1】 位相型フレネルゾーンプレートを有し、物体像を投影する光学系において、該位相型フレネルゾーンプレートのフレネルパターン面上で、物体での1次以上の回折光束のみが通過する領域に設けられた輪帯領域は、その輪帯領域に囲まれた光軸周辺部の領域よりも高次の回折を用いて所望の屈折力を得るように、輪帯領域及びその内側の領域のフレネルピッチもしくはフレネルピッチとブレイジング角が設定されていることを特徴とする位相型フレネルゾーンプレートを用いた投影光学系。

## 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正内容】

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の位相型フレネルゾーンプレートを用いた光学系は、

位相型フレネルゾーンプレートを有し、物体像を投影する光学系において、該位相型フレネルゾーンプレートのフレネルパターン面上で、物体での1次以上の回折光束のみが通過する領域に設けられた輪帯領域は、その輪帯領域に囲まれた光軸周辺部の領域よりも高次の回折を用いて所望の屈折力を得るように、輪帯領域及びその内側の領域のフレネルピッチもしくはフレネルピッチとブレイジング角が設定されていることを特徴とするものである。

## 【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正内容】

【0010】位相型フレネルゾーンプレート5はその前後の光学系と相まって、投影レンズ4全体の収差バランスを良好に保つ働きを有している。位相型フレネルゾーンプレート5のフレネルパターン面7を、物体での1次以上の回折光束のみが通過する領域内に輪帯状の領域を設定し、これをゾーンPと呼ぶことにする。そして、ゾーンPの内側で光軸周辺部の領域をゾーンCと呼ぶことにする。当然であるが、物体の0次回折光束の全てはゾーンCを通過する。